浙江茶尺蠖地理种群已分化成为不同种

席 羽, 殷坤山, 唐美君, 肖 强*

(中国农业科学院茶叶研究所, 杭州 310008)

摘要:【目的】明确茶尺蠖 *Ectropis obliqua* Prout 不同地理种群的种群分化和生殖隔离程度。【方法】对分别在浙江杭州和衢州两地田间采集的茶尺蠖杭州种群(H)和衢州种群(Q)两个种群,进行形态学鉴定、生物学特征观察以及正反交试验。【结果】形态学与生物学观察结果表明,除Q种群的体形较大和体翅颜色略深外,两个种群的外部形态、生殖器解剖结构和雌蛾产卵量等基本相同。遗传杂交试验结果表明,无论是正交还是反交,杂交后均能获得子一代(F1);与种群内自交相比,杂交后雌成虫的产卵量下降,卵的孵化率显著降低;幼虫的历期明显缩短且化蛹时间分布不规则,蛹重变轻;蛹的羽化率降低,羽化的成虫雌雄性比严重失调。【结论】茶尺蠖杭州种群(H)和衢州种群(Q)两个种群存在生殖隔离,有明显的种群分化,应属于不同种。

关键词: 茶尺蠖; 地理种群; 形态; 种群分化; 生殖隔离; 杂交试验

中图分类号: Q963 **文献标识码:** A **文章编号:** 0454-6296(2014)09-1117-06

Geographic populations of the tea geometrid, *Ectropis obliqua* (Lepidoptera: Geometridae) in Zhejiang, eastern China have differentiated into different species

XI Yu, YIN Kun-Shan, TANG Mei-Jun, XIAO Qiang* (Tea Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310008, China)

Abstract:【Aim】This study aims to evaluate the degrees of differentiation and reproduction isolation in different geographic populations of the tea geometrid, *Ectropis obliqua* Prout.【Methods】Investigations of morphological, biological properties and reciprocal cross experiments were carried out in Hangzhou population (H) and Quzhou population (Q) of *E. obliqua*, which were collected in the field of Hangzhou and Quzhou, Zhejiang, respectively.【Results】Morphological and biological observation revealed that individuals of population Q had larger body shape and darker wing color than population H, whereas no observable difference in external morphology, genital structure or female fecundity was found between the two populations. Significantly fewer eggs were laid in the reciprocal cross experiments than in self-cross experiment (control). The F1 generation was always obtained with decreased egg hatching rate. The larval duration of the F1 generation was significantly shortened, the temporal distribution of pupation was irregular and pupal weight became lighter as compared with those of parents. The eclosion rate of F1 generation was reduced and the sex ratio was extremely disordered.【Conclusion】The results suggest that reproductive isolation and differentiation exist between population H and Q of *E. obliqua*, and these two geographic populations should be different species.

Key words: *Ectropis obliqua*; geographic population; morphology; population differentiation; reproductive isolation; cross experiment

茶尺蠖 *Ectropis obliqua* Prout 作为一种主要的茶园害虫,在我国茶区分布普遍,尤其是在浙江、安徽和江苏等省发生严重。由于茶尺蠖发生代数多、繁殖速度快,常暴发成灾,对茶叶产量、品质影响很大。近年来,研究人员在采用病毒防治茶尺蠖的过程中,发现不同地区茶尺蠖对病毒的敏感性差异较大(席羽等,2011),由此引发了不同地区的茶尺蠖是否存在种群分化的思考。

昆虫不同地理种群间的差异分化研究,较多采用分子生物学手段进行分析。云南榕母管蓟马

基金项目: 科技基础性工作专项(2008FY210500); "十二五"国家科技支撑计划课题(2011BAD01B02)
作者简介: 席羽, 女, 1986 年 11 月生, 山东费县人, 博士研究生, 研究方向为昆虫分子生物学及害虫生物防治, E-mail: xiyu1103@126.com
* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: xqtea@vip.163.com
收稿日期 Received: 2014-04-10; 接受日期 Accepted: 2014-08-01

Gynaikothrips ficorum (Marchal)(张利娟等,2012)、银杏大蚕蛾 *Dictyoploca japonica* (Butler)(杨宝山等,2009)、亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis*(Guenée)(李菁等,2010)、双斑长跗萤叶甲 *Monolepta hieroglyphica* (Motschulsky)(梁日霞等,2011)等均基于线粒体 DNA-COI 或 COII 基因进行了不同地理种群间的遗传分化研究,以及利用 ISSR 标记研究种群遗传多样性(高宝嘉等,2008;朱勋等,2012)。然而遗传杂交试验仍然是检验物种分化的有力证据,近年来少有人延续此方面的传统研究。赵清山等(1992)进行的松毛虫不同地理种群间的杂交试验明确了油松毛虫 *Dendrolimus tabulaeformis* Tsai *et* Liu 是马尾松毛虫 *De. punctatus* (Walker)的一个地理亚种,而不是不同种。王强等(2008)对绿豆象 *Callosobruchus chinensis* (Linnaeus)西昌种群和沈阳种群的杂交子代研究,发现两地理种群虽在取食上有很大差异,但其遗传趋异程度并不高,在生殖上完全亲和。Levin 等(2012)对棕色犬壁虱 *Rhipicephalus sanguineus*(Latreille)北美、以色列和非洲 3 个地理种群的杂交试验表明,北美和以色列种群间不存在生殖不亲和,可能为同一物种;而非洲种群与这两个种群间均存在不亲和性,其 F1 代不育;同时基于线粒体 12S rRNA 的系统发育分析也表明非洲种群与另两个种群分属于不同的进化分枝。

目前为止,有关茶树害虫地理种群方面的研究甚少。郑加锋(1988)对不同地区的茶尺蠖幼虫和成虫的形态特征作了比较,提出有 3 个地理宗(亚种)。席羽等(2011)研究了茶尺蠖 6 个地理种群对茶尺蠖核型多角体病毒的敏感性差异。王晓庆等(2013a, 2013b)对不同地理种群茶尺蠖的发育和生殖力做了初步研究,并组建了种群生命表。本项目组前期测定了 17 个地理种群茶尺蠖的线粒体 COI 部分序列,比较其同源性和序列多态性,构建单倍型分子系统发育树,其结果表明茶尺蠖 17 个种群聚为两大类群,遗传距离分析表明两个类群间的遗传距离大于 3.7%(Zhang *et al.*, 2014)。在此基础上,我们分别从上述两个类群中选取了浙江省的杭州种群(H)和衢州种群(Q)进行了形态学观察、生物学特性比较及遗传杂交试验等研究,以明确不同类群茶尺蠖种群间的遗传分化和生殖隔离程度。

1 材料与方法

1.1 虫源

在茶尺蠖发生季节,从茶园中采集幼虫。杭州种群(H)采于浙江杭州地区茶园,衢州种群(Q)采于浙江南部衢州地区茶园,茶树品种均为鸠坑群体种。田间采集的幼虫,经室内饲养后获得各虫态供试。

1.2 饲养方法与条件

从龙井群体种的茶园中剪取长约 40 cm 的茶枝,成束插在盛水的 500 mL 广口瓶后放在大型塑料盆(直径 60 cm)中,将采集来的幼虫接在茶枝上任其取食。幼虫老熟后下坠盆中化蛹,待全部化蛹后将蛹取出,放入 500 mL 玻璃罐头瓶中,每瓶 40 头,成虫羽化后供试。如需继续饲养,则将成虫成对接入罐头瓶中,每瓶 2 对,放入自制折叠具裂缝的纸条,用白纸、橡皮筋扎口,每天上午定时将有卵的纸条取出,放入 4℃的冰箱中保存,使卵休眠。根据试验需要,同一天将卵取出饲养,以使茶尺蠖生长发育同步化。饲养环境与条件:在人工气候室中饲养,温度 23.5 ± 0.5℃,RH 75% ~80%,光周期 12L:12D。

1.3 形态学观察

采用 Leica FZ-12.5 双筒解剖镜观察比较两个种群的幼虫,成虫的大小、体翅的颜色、翅脉与斑纹、生殖器的解剖结构等。检视标本分别保存在中国农业科学院茶叶研究所和中国科学院动物研究所。

1.4 生物学特性比较

1.4.1 产卵量与孵化率:在茶尺蠖蛹期,将雌雄蛹分开饲养。成虫羽化后,将成虫接入有产卵纸的罐头瓶中,每瓶 1 对,共接入 8 瓶,每处理重复 4 次。待成虫死亡后,检查卵块数。待幼虫孵化后,检查孵化率。

1.4.2 食叶量比较:幼虫孵化时,将茶叶嫩梢放入玻璃罐头瓶中定量接虫饲养,叶片大多食去时,取出残叶加入新叶继续饲养,直至化蛹。每次换叶时,分别称取加入新叶和取出残叶的重量,两者之差为食叶量,试验设 4 次重复,最后根据总食叶量和饲养虫数计算出幼虫平均食叶量。

1.4.3 幼虫历期观察;将同一时刻孵化的幼虫接入罐头瓶中,在同一条件下用茶叶饲养,直至化蛹,每处理重复 4 次。开始化蛹起,每天定时观察 2 次,记录(并取出)化蛹的数量,最后根据孵化的日期与化蛹的日期计算出幼虫历期。

1.4.4 体重测定:各处理分别饲养幼虫 100 余头,全部化蛹后将先后所化的蛹混合均匀,分为 4 份分别称重。

1.5 杂交遗传试验

从两地田间采集的幼虫,经过 1 ~2 代的饲养与调控,使两个种群在同一时段化蛹。化蛹后,将雌雄

蛹分开，成虫羽化较多时，取当天羽化的雌雄蛾进行杂交配对（正交与反交），重复 4 次，每重复 8 对。并设各种群内自交为对照。观察产卵量、F1 代幼虫孵化率、蛹体重、成虫羽化状况及性比，并进行比较分析。对正、反杂交的 F1 代再作自交试验，观察 F2 代的生长发育状况。

1.6　统计分析

实验数据应用 SPSS（21.0）软件进行分析处理。显著性检验采用单因素方差分析（one-way ANOVA）方法，用 Duncan 氏新复极差法比较检验不同处理的差异，$P<0.05$ 即认为有差异显著性，$P<0.01$ 即认为有差异极显著性。除性比是通过每个处理中雌虫总数除以雄虫总数所得，其他结果均以平均值和标准差（*SD*）来表示。

2　结果与分析

2.1　茶尺蠖杭州种群和衢州种群的形态和生物学特征

茶尺蠖杭州种群成虫体长 8～12 mm，翅展23～33 mm；衢州种群体长 10～13 mm，翅展 28～38 mm；两个种群的成虫体翅灰白色，衢州种群的色略深（图 1）。两个种群的翅面多灰褐色，偶尔为黑色（黑色个体往往翅面斑纹模糊）；前翅外线外侧在近中部具一黑灰色斑，有时模糊不可见；雄性外生殖器的钩形突近三角形，端部细长且尖锐；颚形突退化；抱器瓣简单；囊形突端部圆；阳端基环后端两侧形成一对细指状突起；阳茎细长，后端部具微刺；阳茎端膜具一个指状角状器；雌性外生殖器的肛瓣和后表皮突极度延长；前阴片为一对近三角形大骨片，后端圆；后阴片较前阴片小，近半圆形；囊导管具骨环；囊体椭圆形，具一个囊片；囊片椭圆形，边缘具长刺。高龄幼虫体均为灰白至灰褐色，第 1－4 腹节背面均有 3 个“×”状黑纹，其间形成两个菱形斑块，第 8 腹节背面有一倒“八”字纹。从以上形态特征来看，两个种群的形态特征基本一致，但两个种群的体形大小和体色深浅等有差异。

同时观察了两个种群的生物学特性，在同一环境条件下饲养，两个种群的产卵量在 0.96～1.10 块/♀之间，食叶量在 0.94～1.14 g/头之间，幼虫的发育历期均为 17 d 左右，均以茶树为主要寄主作物，其生物学特性十分接近。

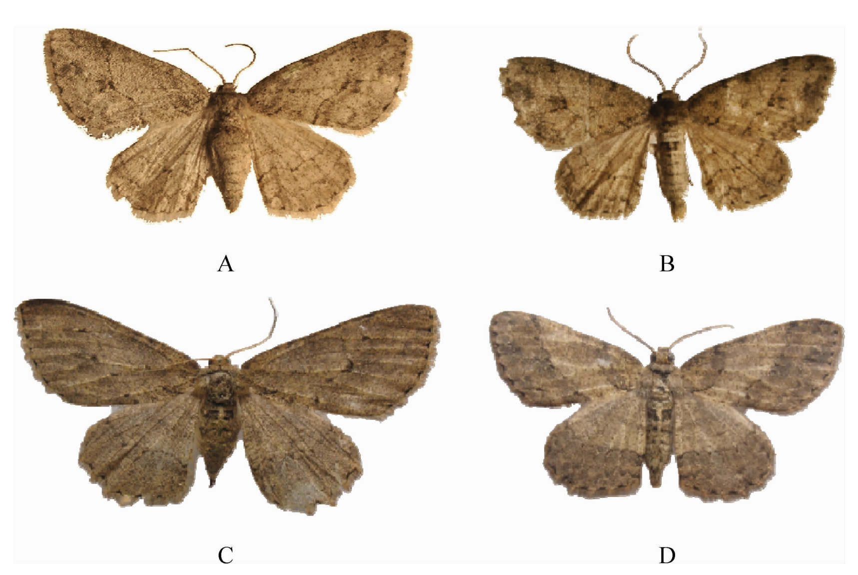


图 1　茶尺蠖杭州种群（H）和衢州种群（Q）成虫形态图

Fig. 1　Morphology of adults of Hangzhou population (H) and Quzhou population (Q) of *Ectropis obliqua*

A：杭州种群 Hangzhou population，♀；B：杭州种群 Hangzhou population，♂；C：衢州种群 Quzhou population，♀；D：衢州种群 Quzhou population，♂.

2.2　茶尺蠖杭州种群和衢州种群杂交后代的性状

2.2.1　杂交当代成虫产卵量和卵的孵化率：杭州种群与衢州种群的成虫进行正交和反交后均能产生子一代（F1），与种群内自交相比，其产卵量和卵孵化率均显著下降（$F_{3,12}=18.658$，$P<0.001$；$F_{3,12}=5.772$，$P=0.011$）。两个种群自交平均产卵量均在 180.50 粒/♀以上，而杂交处理组雌虫的平均产卵量在 130.41 粒/♀以下，其中 H♀×Q♂ 的产卵量仅为自交组合的 33%～38% 左右；杂交组合卵的孵化率也显著降低，其趋势与产卵量一致（表 1）。

表 1 茶尺蠖杭州种群(H)和衢州种群(Q)杂交亲本产卵量和卵孵化率

Table 1 Fecundity and egg hatching rate of cross parents H and Q populations of *Ectropis obliqua*

交配组合 Cross parents	总虫数(对) Number of test insects(pairs)	单雌平均产卵量 Average amount of eggs laid per female	卵孵化率(%) Egg hatching rate
H(♀)×Q(♂)	32	65.68±21.92 cC	47.95±16.78 bB
Q(♀)×H(♂)	32	130.41±6.55 bB	77.20±9.97 abAB
H(♀)×H(♂)(CK)	32	180.50±13.29 aAB	96.43±3.58 aA
Q(♀)×Q(♂)(CK)	32	206.96±11.35 aA	100±0 aA

同列数据后不同小写字母表示处理组间差异显著($P<0.05$),不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$)(单因素方差分析, Duncan 氏新复极差检验);下表同。Values in the same column followed by different lowercase letters are significantly different ($P<0.05$), while those in the same column followed by different capital letters are extremely significantly different ($P<0.01$) by one-way analysis of variance (Duncan's multiple range test). The same for the following tables.

2.2.2 杂交 F1 代幼虫和蛹的生长发育状况:杂交 F1 代幼虫的生长基本正常,体上的斑纹与母本相似,但虫体略小、体色略浅、平均发育历期缩短明显($F_{3,12}=131.960$, $P<0.001$)。自交组合的幼虫发育历期均为 17 d 左右,幼虫化蛹数量与化蛹时间呈正态分布,化蛹时间持续 12 d 左右;杂交组合幼虫发育历期缩短至 13 d 左右,幼虫化蛹数量随时间逐渐减少,前 5 d 的化蛹率超过 90%。蛹在外部形态上与母本无差异,但蛹重显著变轻($F_{3,12}=3\ 718.466$, $P<0.001$)(表 2,图 2)。

表 2 茶尺蠖杭州种群(H)与衢州种群(Q)杂交 F1 代的幼虫历期与蛹重

Table 2 Developmental duration and pupal weight of F1 generation larvae of populations H and Q of *Ectropis obliqua* and their hybrids(H×Q)

交配组合 Cross parents	总虫数(头) Number of insect individuals tested	幼虫历期(d) Larval duration	蛹重(g/头) Pupal weight (g/individual)
H(♀)×Q(♂)	91	13.29±0.07 cC	0.059±0.002 cC
Q(♀)×H(♂)	238	13.09±0.01 bB	0.056±0.002cC
H(♀)×H(♂)(CK)	312	17.17±0.01aA	0.072±0.001 bB
Q(♀)×Q(♂)(CK)	237	17.24±0.03 aA	0.096±0.001 aA

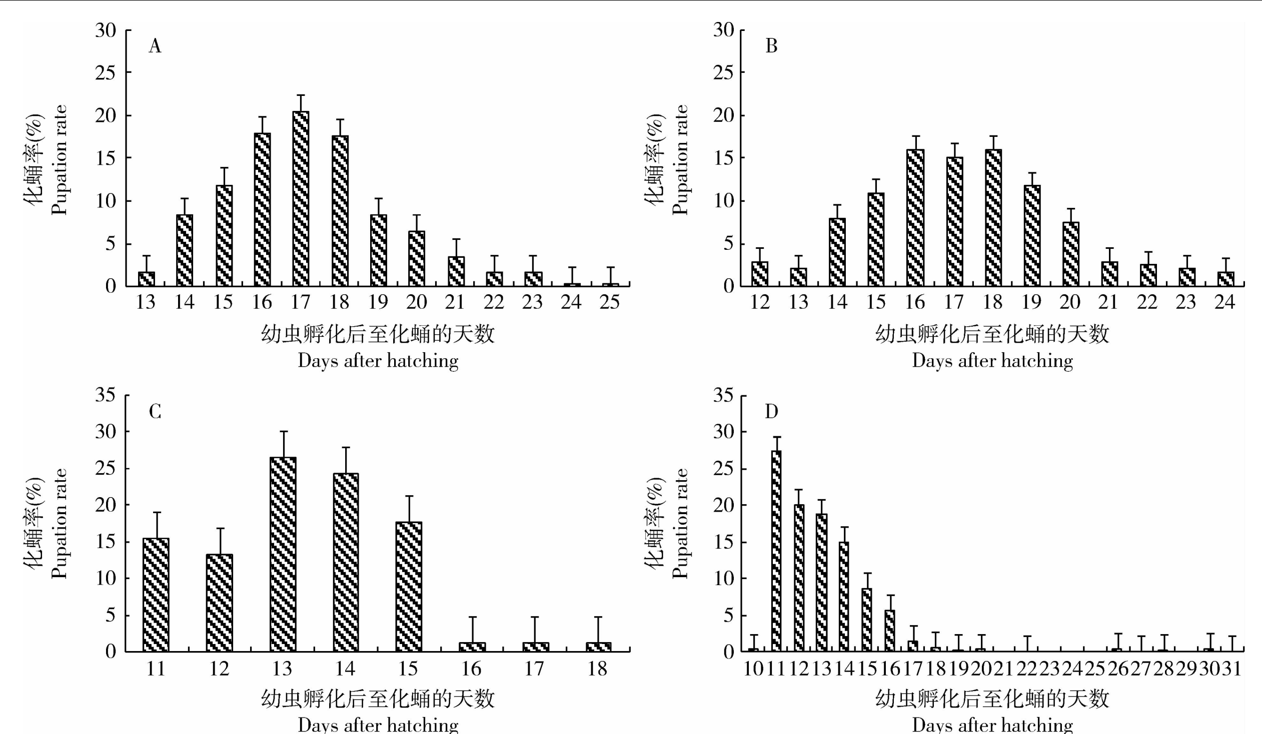


图 2 茶尺蠖杭州种群(H)与衢州虫源(Q)及其杂交(H×Q)F1 代化蛹率的时间分布

Fig. 2 Temporal distribution of pupation in F1 generation of populations H and Q of *Ectropis obliqua* and their hybrids (H×Q)

A: 杭州种群 Hangzhou population (H); B: 衢州种群 Quzhou opulation (Q); C: H♀×Q♂; D: H♂×Q♀.

2.2.3 杂交 F1 代成虫的羽化状况与雌雄性比：与自交组合相比，杂交 F1 代蛹羽化率显著降低（$F_{3,35}=5.536$, $P=0.003$），无法产生正常羽化的成虫，且成虫性比严重失调。自交组合的雌雄性比接近1∶1；杂交组合 H♀×Q♂ 的 F1 代成虫中♀∶♂为1∶0.1，雌蛾占总数的91%以上；而 Q♀×H♂ 则相反，其♀∶♂为1∶52.5，雌蛾仅占总数的1.9%（表3）。由于产生杂交 F1 代的数量较少，且因雌雄性比失调，羽化时间不同步、难于配对等因素，虽然 F1 代也产极少量的卵，但卵均未孵化，未能产成自交 F2 代。

表 3　茶尺蠖杭州种群（H）与衢州种群（Q）杂交 F1 代蛹羽化率和成虫性比

Table 3　Eclosion rate and sex ratio of F1 generation pupae of populations H and Q of *Ectropis obliqua* and their hybrids（H×Q）

交配组合 Cross parents	观察蛹数（头） Number of pupae observed	羽化率（%） Eclosion rate	雌雄性比 Female to male ratio
H（♀）×Q（♂）	91	33.41±11.60 abAB	1∶0.1
Q（♀）×H（♂）	209	15.14±4.30 bB	1∶52.5
H（♀）×H（♂）（CK）	292	54.93±8.00 aA	1∶0.9
Q（♀）×Q（♂）（CK）	237	52.84±10.82 aA	1∶0.9

3　讨论

物种是在自然状态下相互交配产生可育后代的生物集合，由于地理海拔、地理距离等原因，形成地理上相互隔离的种群，又由于自然选择作用，朝着不同的方向进化，产生形态学、生物学特性上的差异和生殖隔离现象，形成亚种，甚至新物种。生殖隔离机制能够阻止生物分类单元间的基因流动，在物种进化形成过程中具有重要作用（Lowe and Abbott, 2004）。例如有研究发现，云南桔小实蝇 *Bactrocera dorsalis*（Hendel）5 个种群因为被分隔在相对隔绝的区域中，各种群相互之间进行基因交流的机会减少，最终导致遗传分化的产生（Shi and Ye, 2004）。但一般隐种的外部形态在进化上比较保守，只采用形态学方法研究种的分类有可能掩盖物种内的生物学多样性的发现（Bickford *et al.*, 2007）。

本文对浙江省的茶尺蠖两个地理种群（杭州种群 H 和衢州种群 Q）开展了研究，结果表明，两个种群在主要形态和生殖器结构上并无明显差异。然而遗传杂交试验结果表明，无论是正交还是反交，杂交处理组雌虫的产卵量显著减少；杂交 F1 代幼虫孵化率显著降低，成虫出现畸形，性比严重失调，在数百头（F1 代）的饲养数量下，未能饲养出 F2 代，说明两个地理种群具有明显的生殖隔离现象。根据霍尔丹法则（Haldane, 1922），种间杂交 F1 代某一性别个体稀少、缺乏或不育，则此性别为异配型。鳞翅目的性别染色体属 ZW 系统，雄性为 ZZ，雌性为 ZW，即雌性为异配型。本研究中，Q♀×H♂ F1 代的雌性（异配型）个体十分稀少；而 H♀×Q♂ F1 代的雌性虽然有但产卵量甚少，几乎不育，有关机制值得深入探讨。实夜蛾亚科的棉铃虫 *Helicoverpa armigera*（Hübner）和烟青虫 *Helicoverpa assulta* Guenée 两个种的种间杂交结果与之相似，存在杂交后代性比失调的现象（Laster, 1972；王琛柱和董钧锋，2000；Zhao *et al.*, 2005；Wang, 2007），但这是在不同种之间的杂交结果。茶尺蠖杭州种群和衢州种群在体形大小、色泽、体重、产卵量、食叶量等方面差异不大，然而通过种群间杂交，无论是正交还是反交均不能持续产生后代；进一步结合茶尺蠖 mtDNA COI 部分序列系统分化研究结果，表明我国茶尺蠖不同地理种群间存在遗传分化现象，可分为 2 个类群，且杭州种群和衢州种群分属于不同的类群（Zhang *et al.*, 2014）。综上所述，茶尺蠖杭州种群和衢州种群存在生殖隔离，应属于不同种。

我国茶区范围广大，茶尺蠖普遍分布于各产茶省（区），不同地区种群之间的亲缘关系还有待于进一步研究。同时，近年来昆虫分子生物学方面的研究不断增多，有关茶尺蠖地理种群间线粒体基因序列分析、分子系统发育及遗传多样性等分析也有待深入研究。

致谢　中国科学院动物研究所韩红香老师和姜楠老师帮助进行了两个茶尺蠖种群的形态特征描述和鉴定，特此感谢。

参考文献（References）

Bickford D, Lohman DJ, Sohdi NS, Ng Peter KL, Meier R, Winker K, Ingram KK, Das I, 2007. Cryptic species as a window on the diversity and conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 22(3): 148–155.

Gao BJ, Gao LJ, Hou JH, Shang JJ, You LQ, 2008. Genetic diversity

of *Dendrolimus* (Lepidoptera) population from different geographic area. *Acta Ecologica Sinica*, 28(2): 842 -848. [高宝嘉, 高立杰, 侯建华, 商金杰, 尤立权, 2008. 三种松毛虫不同地理种群遗传多样性. 生态学报, 28(2): 842 -848]

Haldane JBS, 1922. Sex ratio and unisexual sterility in hybrid animals. *Journal of Genetics*, 12(2): 101 -109.

Laster ML, 1972. Interspecific hybridization of *Heliothis virescens* and *H. subflexa*. *Environ. Entomol.*, 1(6): 682 -687.

Levin ML, Studer E, Killmaster L, Zemtsova G, Mumcuoglu KY, 2012. Crossbreeding between different geographical populations of the brown dog tick, *Rhipicephalus sanguineus* (Acari: Ixodidae). *Exp. Appl. Acarol.*, 58(1): 51 -68.

Li J, Zhang Y, Wang ZY, He KL, Wang Q, 2010. Genetic differentiation and gene flow among different geographical populations of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae) in China estimated by mitochondrial CO Ⅱ gene sequences. *Acta Entomologica Sinica*, 53(10): 1135 -1143. [李菁, 张颖, 王振营, 何康来, 王强, 2010. 基于线粒体 DNA COⅡ基因的亚洲玉米螟中国不同地理种群遗传分化及基因流研究. 昆虫学报, 53(10): 1135 -1143]

Liang RX, Wang ZY, He KL, Cong B, Li J, 2011. Genetic diversity of geographic populations of *Monolepta hieroglyphica* (Motschulsky) (Coleoptera: Chrysomelidae) from North China estimated by mitochondrial CO Ⅱ gene sequences. *Acta Entomologica Sinica*, 54(7): 828 -837. [梁日霞, 王振营, 何康来, 丛斌, 李菁, 2011. 基于线粒体 CO Ⅱ基因序列的双斑长跗萤叶甲中国北方地理种群的遗传多样性研究. 昆虫学报, 54(7): 828 -837]

Lowe AJ, Abbott RJ, 2004. Reproductive isolation of a new hybrid species, *Senecio eboracensis* Abbott & Lowe (Asteraceae). *Heredity*, 92(5): 386 -395.

Shi W, Ye H, 2004. Genetic differentiation in five geographic populations of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae) in Yunnan Province. *Acta Entomologica Sinica*, 47(3): 384 -388. [施伟, 叶辉, 2004. 云南桔小实蝇五个地理种群的遗传分化研究. 昆虫学报, 47(3): 384 -388]

Wang CZ, 2007. Interpretation of the biological species concept from interspecific hybridization of two *Helicoverpa* species. *Chinese Science Bulletin*, 52(2): 284 -286.

Wang CZ, Dong JF, 2000. Hybridization between *Helicoverpa armigera* (Hübner) and *H. assulta* Guenee. *Chinese Science Bulletin*, 45(20): 2209 -2212. [王琛柱, 董钧锋, 2000. 棉铃虫和烟青虫的种间杂交. 科学通报, 45(20): 2209 -2212]

Wang Q, Deng YX, Wang JJ, Quan Y, 2008. Study on hybridization of two geographic populations of *Callosobruchus chinensis* L. (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Southwest University (Natural Science Edition)*, 30(2): 133 -137. [王强, 邓永学, 王进军, 权跃, 2008. 绿豆象西昌种群和沈阳种群的杂交研究. 西南大学学报(自然科学版), 30(2): 133 -137]

Wang XQ, Sheng ZL, Peng P, Guo X, Hu X, Lin Q, 2013a. On geographic differences of population increase of *Ectropis obliqua* (Prout) in different geographical zones. *Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition)*, 38(1): 68 -71. [王晓庆, 盛忠雷, 彭萍, 郭萧, 胡翔, 林强, 2013a. 不同的地理种群茶尺蠖增长差异性研究. 西南师范大学学报(自然科学版), 38(1): 68 -71]

Wang XQ, Sheng ZL, Peng P, Guo X, Hu X, Lin Q, 2013b. Difference in the fitness of the geographic populations of *Ectropis obliqua*. *Plant Protection*, 39(2): 63 -66. [王晓庆, 盛忠雷, 彭萍, 郭萧, 胡翔, 林强, 2013b. 不同地理种群茶尺蠖适合度差异研究. 植物保护, 39(2): 63 -66]

Xi Y, Yin KS, Xiao Q, 2011. The susceptibility difference against *Eo*NPV in different geographic populations of tea geometrid (*Ectropis obliqua* Prout). *Journal of Tea Science*, 31(2): 100 -104. [席羽, 殷坤山, 肖强, 2011. 不同地理种群茶尺蠖对 *Eo*NPV 的敏感性差异研究. 茶叶科学, 31(2): 100 -104]

Yang BS, Hou QJ, Wang H, Li XS, Jiang DF, Liu YQ, Qin L, 2009. Sequence variability of COI gene and genetic differentiation among the geographic populations of *Caligula japonica* (Lepidoptera: Saturniidae) in China. *Acta Entomologica Sinica*, 52(4): 406 -412. [杨宝山, 侯庆君, 王欢, 李喜升, 姜德富, 刘彦群, 秦利, 2009. 不同地理种群银杏大蚕蛾 COI 基因序列变异与遗传分化. 昆虫学报, 52(4): 406 -412]

Zhang GH, Yuan ZJ, Zhang CX, Yin KS, Tang MJ, Guo HW, Fu JY, Xiao Q, 2014. Detecting deep divergence in seventeen populations of tea geometrid (*Ectropis obliqua* Prout) in China by COI mtDNA and cross-breeding. *PLoS ONE*, 9(6): e99373.

Zhang LJ, Shen DR, Sun YX, Li ZY, Zhang HR, 2012. Analysis of genetic differentiation among geographic populations of *Gynaikothrips ficorum* (Marchal) (Thysanoptera: Phlaeothripidae) in Yunnan, southwestern China, based on mtDNA COⅠ gene sequences. *Acta Entomologica Sinica*, 55(2): 199 -207. [张利娟, 沈登荣, 孙跃先, 李正跃, 张宏瑞, 2012. 基于 mtDNA COI基因序列的云南榕母管蓟马不同地理种群的遗传分化分析. 昆虫学报, 55(2): 199 -207]

Zhao QS, Wu WB, Lu GP, Yuan X, Li SK, Jiang JC, 1992. Hybridization experiments with two species of *Dendrolimus*. *Acta Entomologica Sinica*, 35(1): 28 -32. [赵清山, 邬文波, 吕国平, 袁星, 李善奎, 蒋家城, 1992. 松毛虫的杂交遗传试验. 昆虫学报, 35(1): 28 -32]

Zhao XC, Dong JF, Tang QB, Yan YH, Gelbic I, van Loon JJ, Wang CZ, 2005. Hybridization between *Helicoverpa armigera* and *Helicoverpa assulta* (Lepidoptera: Noctuidae): development and morphological characterization of F1 hybrids. *Bull. Entomol. Res.*, 95: 409 -416.

Zheng JF, 1988. Three geographic populations of *Ectropis obliqua* Prout. *Tea in Fujian*, (2): 38. [郑加锋, 1988. 茶尺蠖三个地理宗. 福建茶叶, (2): 38]

Zhu X, Yang JQ, Wu QJ, Li JH, Wang SL, Guo ZJ, Liu YT, Zhang YJ, Yang FS, 2012. Genetic diversity of different geographical populations of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) from China based on ISSR analysis. *Acta Entomologica Sinica*, 55(8): 981 -987. [朱勋, 杨家强, 吴青君, 李建洪, 王少丽, 郭兆将, 刘雅婷, 张友军, 杨峰山, 2012. 小菜蛾不同地理种群遗传多样性的 ISSR 标记研究. 昆虫学报, 55(8): 981 -987]

(责任编辑: 袁德成)